

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 80 11945

(54) Procédé et dispositif pour le dépoussiérage électrostatique d'un gaz.

(51) Classification internationale (Int. Cl. ⁸). B 03 C 3/16; A 01 F 25/12.

(22) Date de dépôt..... 29 mai 1980.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 49 du 4-12-1981.

(71) Déposant : OFFICE NATIONAL D'ETUDES ET DE RECHERCHES AEROSPATIALES - ONERA,
résidant en France.

(72) Invention de : Joseph Taillet et Serge Larigaldie.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Cabinet André Netter,
40, rue Vignon, 75009 Paris.

La présente invention est relative au dépoussiérage d'une atmosphère gazeuse.

Elle vise en particulier à obtenir la séparation de particules solides en suspension dans un gaz en faisant circuler le gaz dans une enceinte où elles sont retenues par effet électrostatique.

Les procédés de dépoussiérage électrostatique sont basés sur l'attraction qu'exerce sur des poussières chargées électriquement une ou des électrodes portées à un potentiel de signe opposé à celui des poussières.

Ainsi, les installations de dépoussiérage électrostatique comportent, d'une part, des moyens destinés à faire circuler dans une enceinte le fluide gazeux chargé de poussières, un dispositif propre à charger électriquement lesdites poussières et une ou des électrodes propres à attirer lesdites poussières.

Selon une technique connue, on charge électriquement les poussières contenues dans le courant de gaz à épurer en établissant une décharge électrique corona dans ledit courant gazeux.

A cet effet, on fait circuler le flux gazeux chargé de particules de poussière entre une pointe conductrice (ou un fil conducteur tendu), ou première électrode, et une deuxième électrode de surface relativement étendue, plane ou cylindrique par exemple, une différence de potentiel de l'ordre de plusieurs dizaines de kilovolts étant appliquée entre lesdites électrodes.

Le champ électrique au voisinage de la première électrode, ou électrode centrale, très intense, provoque la formation dans une petite zone, dite active, d'avalanches électroniques qui engendrent une grande quantité d'ions et d'électrons. Les électrons, très mobiles, tendent à quitter rapidement la zone active en provoquant en bordure de cette zone active la formation d'une concentration élevée d'ions positifs ou négatifs selon que la première électrode est positive ou négative par rapport à la deuxième électrode. Cette concentration d'ions constitue une charge d'espace dont la valeur est mesurée par le produit de la quantité de particules ionisées par unité de volume dans l'espace considéré, et de la charge de ces particules. Les poussières qui circulent dans la zone de charge d'espace acquièrent par diffusion ou par bombardement une charge de même signe que la charge d'espace. La charge finale de

chaque particule de poussière dépend de sa dimension, de son temps de séjour dans cette zone et de la valeur de la charge d'espace.

5 Dans le cas où le gaz chargé de poussières est explosif, par exemple une atmosphère de silos à blé où la très fine poussière de gluten qui s'accumule dans l'air ambiant fournit un mélange très détonant, la création d'une décharge corona est à prohiber, la moindre étincelle pouvant causer des dommages considérables.

10 Par ailleurs, le rendement d'une décharge corona décroît au fur et à mesure qu'augmente la température du gaz où elle est produite et cela en raison de la présence, dans un fluide gazeux à haute température, de molécules excitées en vibration par l'agitation thermique ; ces molécules entrent en collision avec
15 un ion négatif, et provoquent le détachement de l'électron. Le courant électronique de la décharge augmente, avec pour conséquence l'abaissement du rendement de la production de charge d'espace et l'apparition d'instabilités.

20 Le dépoussiérage, en faisant appel à la décharge corona, des gaz de combustion issus de foyers, par exemple à lit fluidisé brûlant du charbon ou des combustibles de récupération à bas pouvoir calorifique, en est rendu pratiquement impossible. C'est pour cette raison que l'on ne peut pas, jusqu'à présent, associer directement de tels foyers à des turbines à gaz ou des
25 moteurs à piston qui subissent une détérioration rapide par l'action des poussières.

On connaît également des techniques de dépoussiérage par précipitation électrostatique qui ne font pas intervenir une décharge corona, mais une association de gouttelettes très fines
30 avec les poussières ou particules que l'on cherche à éliminer.

Ainsi, par exemple, il a été proposé d'épurer un courant gazeux par un contact gaz-liquide en pulvérisant un liquide dans une buse supersonique alimentée par de l'air comprimé, l'atomisat résultant étant injecté, en général à contre-courant,
35 dans un courant de fluide gazeux à épurer. La buse est portée à un potentiel électrique élevé par rapport à la masse de l'installation de sorte que les gouttelettes d'eau qui en sortent sont chargées et se collent aux poussières pour les entraîner vers des parties métalliques reliées électriquement à la masse
40 de l'installation, provoquant ainsi leur séparation du gaz.

Les poussières résiduelles, qui sont entraînées avec les gouttelettes dans le courant de gaz au-delà des buses, sont précipitées à leur tour sur une électrode portée à un potentiel électrique convenable.

- 5 Une autre technique connue de ce type consiste à produire un jet de fines gouttelettes d'eau à la sortie d'une buse mise à la masse disposée en face d'une électrode annulaire polarisée par une haute tension afin de communiquer une charge de signe prédéterminé auxdites gouttelettes d'eau. Lorsque les
- 10 particules à éliminer de l'atmosphère recevant le jet sont elles-mêmes déjà chargées électriquement, les gouttelettes d'eau chargées sont attirées par ces particules et forment un brouillard qui permet d'obtenir leur dépôt.

- L'une et l'autre de ces techniques mettent en oeuvre un
- 15 lavage à l'eau du gaz à épurer et, ainsi, ne permettent pas de traiter à sec un gaz ou toute atmosphère dans laquelle la formation de boues est à prohiber. Elles sont, en outre, inefficaces à l'égard d'atmosphères à des températures pour lesquelles les gouttelettes d'eau sont vaporisées avant qu'elles
- 20 s'associent aux particules à éliminer.

- La présente invention concerne un procédé de séparation de particules solides ou poussières en suspension dans un gaz par précipitation électrostatique, qui ne présente pas les inconvénients mentionnés précédemment et qui, notamment, résout
- 25 le problème du dépoussiérage d'atmosphères explosives ou à température élevée.

- Ce procédé de séparation de particules selon lequel on fait circuler ce gaz dans une enceinte pour y charger électriquement les particules avant de les précipiter sur au moins
- 30 une électrode, est caractérisé en ce que, pour charger électriquement lesdites particules, on produit des ions dans une chambre distincte de ladite enceinte et on les injecte dans ladite enceinte pour former une charge d'espace sur le trajet du courant gazeux dans ladite enceinte.

- 35 Par ce procédé, on produit ainsi des charges électriques dans un premier milieu contenu dans ladite chambre et on les transfère dans un deuxième milieu, contenu dans ladite enceinte où circule le gaz à épurer, pour y créer une charge d'espace. Les premier et deuxième milieux sont indépendants au point de
- 40 vue électrique de sorte qu'aucune étincelle du premier milieu

ne peut se propager vers le deuxième milieu. En outre, les caractéristiques propres du premier milieu dans lequel on engendre la formation d'ions ne sont pas influencées par celles du deuxième milieu où l'on utilise ces ions pour charger des particules à précipiter par voie électrostatique.

Selon un mode d'exécution, on piège les ions produits dans la chambre à l'aide de microparticules d'un aérosol que l'on injecte vers l'enceinte dans laquelle se trouve le gaz à épurer et on libère les ions piégés par changement d'état, par exemple, vaporisation, pour y créer la charge d'espace. Les microparticules d'aérosol jouent ainsi un rôle de vecteur de charges entre les deux milieux tout en maintenant ceux-ci isolés l'un de l'autre.

On prévoit de maintenir la charge d'espace sur le trajet du gaz à épurer à une valeur très sensiblement inférieure à celle qui serait suffisante pour l'amorçage d'une décharge corona en un point quelconque de l'enceinte correspondante. On élimine ainsi complètement les risques de décharge ou d'étincelle dans le cas où l'atmosphère à épurer est explosive.

On a constaté que des valeurs de charges d'espace, suffisamment faibles pour ne pas présenter de danger, sont tout à fait suffisantes pour effectuer une charge électrostatique des particules pour permettre leur précipitation.

En outre, l'invention prévoit, pour de telles atmosphères, d'utiliser dans la première chambre, une décharge corona négative. On obtient un bon rendement énergétique et un transfert stable des ions négatifs sur le trajet du courant de fluide à épurer.

Dans le cas d'une atmosphère à épurer à haute température, le procédé selon l'invention prévoit d'entretenir une décharge corona dans une chambre dont la température est suffisamment basse pour obtenir un bon rendement de charge d'espace et, à partir de cette chambre, de transférer les ions dans les gaz chauds à épurer. On prévoit avantageusement d'injecter des ions positifs produits à partir d'une décharge corona positive. On évite ainsi l'apparition dans la seconde chambre d'électrons engendrés par collision des ions négatifs avec les molécules du gaz excitées par l'agitation thermique.

On prévoit également de régler la charge d'espace de façon à limiter la probabilité que des électrons ne soient

produits par ionisation dans le volume de gaz chaud à dépoussiérer. Ce réglage s'effectue par action sur le potentiel de la pointe autour de laquelle l'effet corôna est produit dans la première chambre, ce qui fait varier le courant transporté
5 par les microparticules dans la seconde chambre.

Conformément à une caractéristique de l'invention, pour transférer des ions créés dans la zone de charge corona, on les associe à des microparticules de glace obtenues par détente supersonique d'air comprimé chargé d'humidité dans ladite zone
10 de décharge.

Les cristaux microscopiques de glace s'évaporent peu après leur sortie du détendeur et libèrent les ions qu'ils avaient piégés pour former une charge d'espace de valeur convenable à l'entrée du gaz à épurer.

15 L'invention a aussi pour objet un séparateur électrostatique du type comprenant une enceinte dans laquelle circule entre une entrée et une sortie un courant gazeux véhiculant des particules, des moyens pour charger électriquement lesdites particules et des moyens sur le trajet dudit courant gazeux pour
20 précipiter électrostatiquement lesdites particules chargées, caractérisé en ce que lesdits moyens de charge comprennent un générateur d'ions par décharge corona dans une chambre distincte de ladite enceinte, et des moyens pour injecter ces ions dans ladite enceinte afin d'y créer une charge d'espace sur le
25 trajet dudit courant gazeux.

La description qui suit, donnée à titre d'exemple, se réfère aux dessins annexés, dans lesquels :

la figure 1 est une représentation schématique en perspective avec arrachement partiel d'une installation selon
30 l'invention ;

les figures 2a et 2b représentent deux variantes de montage d'injecteurs dans l'installation vues en coupe par le plan I-I de la figure 1 ;

la figure 3 est une vue schématique en coupe longitudinale d'un injecteur utilisé pour la mise en oeuvre de l'invention ;
35

la figure 4 est une vue en coupe avec arrachement partiel d'un mode de réalisation pour le dépoussiérage de gaz chauds ;

40 la figure 5 est une vue schématique en coupe verticale

d'un autre mode de réalisation d'une installation d'épuration de gaz chauds ;

la figure 6 est une vue en coupe transversale selon le plan VI-VI de la figure 5.

5 Une enceinte est constituée par un couloir parallélépipédique 10 (fig.1) limité par deux parois verticales parallèles 11 et 12, un plancher 13, et une paroi supérieure 15, (non montrée sur la figure 1). L'enceinte 10 comporte une entrée 14 pour l'admission de gaz à épurer et une sortie 16 pour leur
10 évacuation après précipitation des particules solides contenues dans ces gaz. L'entrée 14 débouche dans une zone de charge 17 suivie, le long du trajet du gaz à épurer dans l'enceinte 10, par une zone de précipitation électrostatique 19 comprenant une pluralité de plaques 20 parallèles aux parois 11 et 12, reliées
15 alternativement à des sources de potentiel respectivement positif et négatif.

Dans la zone de charge 17 débouchent une pluralité d'injecteurs 21 alignés suivant des rangées verticales 23 et 24, les injecteurs de la rangée 23 traversant la paroi 11 et les
20 injecteurs de la rangée 24 traversant la paroi 12.

Chaque injecteur comporte à son extrémité antérieure une buse 25 (figures 2a et 2b) débouchant dans le couloir 10, un corps 26 traversant la paroi 11 ou 12, respectivement perpendiculairement à celle-ci et une partie postérieure 28 reliée
25 d'une part à une conduite commune 29 d'admission d'air humide comprimé et, d'autre part, à un câble d'alimentation en haute tension 42 (voir figure 2a).

Les injecteurs 24 de la figure 2a, au nombre de cinq dans chaque rangée 23 et 24, sont montés dans les parois 11 et
30 12, de telle sorte que la buse 25 de chaque injecteur de la rangée 23 soit placée en regard de la buse 25 d'un injecteur homologue de la rangée 24.

Les injecteurs de la figure 2b sont disposés en quinconce, les autres injecteurs traversant la paroi 12 formant
35 une rangée 24' d'injecteurs dont les axes sont décalés par rapport aux axes des quatre injecteurs de la rangée 23' dans la paroi 11.

Chaque injecteur 21 (figure 3) comporte un corps tubulaire 30 conducteur ou isolant délimitant une chambre cylindrique interne 32. Une tuyère 34, définissant un col de tuyère
40

35, est montée en avant du tube 30 dans l'axe de ce dernier. Le divergent de la tuyère débouche dans un embout tubulaire 36 formant la buse d'injection 25. La partie arrière 28 du tube 30 se prolonge par un cylindre creux 38 fermé à sa partie postérieure et présentant une ouverture latérale 39 reliée à la conduite d'alimentation en air comprimé 29. La paroi postérieure 40 du cylindre creux 38 porte une traversée isolante 41 étanche à laquelle est raccordé le câble d'alimentation électrique 42 ; la traversée est connectée à une première électrode effilée ou aiguille 45 fixée par une monture 44 sur la paroi interne de tube 30. La monture 44 est isolante, elle est constituée d'une structure étoilée comportant par exemple trois branches radiales. L'aiguille 45 est métallique et disposée suivant l'axe du tube 30, sa pointe se terminant au col 35 de la tuyère 34. Cette tuyère est en un matériau conducteur de l'électricité et constitue une deuxième électrode reliée à une source de tension continue 48 par le câble 49 et à la masse de l'installation par une liaison 51. L'aiguille 45 est reliée par le conducteur 42 à l'autre pôle de la source de haute tension 48.

En fonctionnement, lorsque la tension atteint une valeur suffisamment élevée, une décharge corona s'établit entre l'aiguille 45 et la tuyère 34 dans le gaz humide traversant le col 35 de cette dernière.

Si l'électrode centrale ou aiguille 45 est négative, elle recueille des ions positifs et les électrons s'en éloignent en diffusant. Dans le fluide gazeux où se produit la décharge, les électrons s'attachent rapidement aux molécules des gaz électronégatifs en engendrant des ions négatifs moins mobiles que ces électrons, qui forment la charge d'espace. On peut montrer que le rendement en énergie électrique de la formation d'une charge d'espace négative s'améliore d'autant plus que le gaz, siège de la décharge, facilite la formation d'ions négatifs. La faible mobilité des ions négatifs permet, en outre, d'obtenir une charge d'espace stable autour de l'électrode centrale 45. Tel est le cas avec de l'air sec ou humide. Avec des gaz faiblement électronégatifs, il y a lieu de craindre les phénomènes d'instabilité qui se produisent lorsque les électrons, ne s'attachant pas sous la forme d'ions négatifs, créent des filaments ionisés à travers le gaz, qui

dégénèrent en arcs électriques capables de provoquer le court-circuit de l'électrode centrale et, par conséquent, de nuire au fonctionnement du dispositif.

Si l'électrode centrale 45 est positive, les électrons
5 progressent rapidement vers cette dernière, en laissant une très forte quantité d'ions qui créent un plasma suffisamment dense pour provoquer la formation d'un canal ionisé qui apparaît comme une amorce d'étincelle. Ce canal progresse à partir de l'électrode centrale en direction de la deuxième électrode en poussant devant lui la zone active, siège des avalanches. Si le canal ionisé progresse jusqu'à la deuxième électrode, un court-circuit entre ces deux électrodes se produit.
10 En limitant la différence de potentiel appliquée entre les électrodes, il est possible de limiter la progression de la zone active de telle façon que la décharge se maintienne sans amorcer d'étincelle et produire de court-circuit dangereux, la zone active étant entourée d'une charge d'espace constituée d'ions positifs.

L'air admis dans la conduite 30 possède un degré hygrométrique moyen, par exemple 50% d'humidité relative dans les conditions normales de température et de pression. On dispose d'une assez grande latitude à cet égard et tout air dont le degré hygrométrique est supérieur à 10% convient pour la mise en oeuvre du procédé, ce qui permet de l'appliquer
25 sans nécessiter de mesures particulières pour l'humidification de l'air ambiant dans des endroits très variés. Dans le cas où l'air est trop sec, on commence d'abord à le comprimer à la pression génératrice nécessaire à l'obtention de la détente supersonique, puis on l'humidifie ensuite par passage dans un humidificateur avant de l'admettre dans la conduite 30.
30

La détente supersonique de l'air humide dans le divergent suivant le col 35 de la figure 34 produit des microparticules de glace d'un diamètre de l'ordre du centième de micron qui "piègent" les ions engendrés par la décharge corona entretenue par la différence de potentiel élevée existant
35 entre la pointe de l'aiguille 45 et ledit corps de tuyère 34. Le jet de microparticules à la sortie de la tuyère entraîne les charges piégées à l'intérieur de la buse 25 vers la zone de charge 17 dans l'enceinte 10. Ces charges sont libérées
40 par la vaporisation des microcristaux de glace à une dizaine

de centimètres de la tuyère 34. Elles se répandent alors par diffusion et sous l'effet de leur propre charge d'espace dans la zone 17 avant d'être collectées par les parois métalliques 11, 12, 13 et 15.

5 La valeur de la charge d'espace d'espace ainsi créée peut être contrôlée en agissant sur les paramètres de formation de la décharge corona et, en particulier, la différence de potentiel appliquée entre les électrodes, la vitesse et la pression de l'air, la dimension de la tuyère provoquant
10 la détente de l'air comprimé, etc ...

 La valeur de cette charge d'espace peut être relativement faible par rapport à celle mise en oeuvre par la décharge corona à l'intérieur de l'injecteur 21, tout en procurant une densité ionique suffisante dans l'espace 17 pour charger
15 les poussières véhiculées dans un courant de gaz à un niveau permettant leur précipitation ultérieure dans la zone de précipitation électrostatique 19.

 Le courant électrique transporté par les particules chargées dans la zone de charge 17 est relativement faible
20 par rapport au courant injecté par l'injecteur 21. La majeure partie de ce courant va donc sous forme de courant d'ions à la paroi métallique de l'enceinte de charge 17 qui est reliée à la masse en parallèle avec le corps de la tuyère 34 et qui joue un rôle analogue à l'électrode auxiliaire des dépoussiéreurs classiques à décharge corona.
25

 Le fluide gazeux chargé de poussières est admis à l'entrée 11 de l'enceinte 10 selon la flèche 52 (figure 1) et traverse la zone de charge 17 où les particules de poussière se chargent par diffusion et bombardement au contact
30 de la charge d'espace, de sorte qu'elles sont ensuite précipitées sur les plaques polarisées 20 de la zone de précipitation électrostatique 19 à leur passage entre celles-ci ; le gaz épuré quitte l'enceinte 10 dans la direction de la flèche 53.

35 Dans un exemple de réalisation, l'aiguille 45 est portée à un potentiel négatif de 12 Kilovolts par rapport à la tuyère et un courant de 50 microampères est produit à la sortie de cette dernière lorsque la conduite 29 alimente l'injecteur avec un débit d'air humide de 20 m³ par heure
40 (mesuré dans les conditions normales de pression et de tempé-

rature) sous une pression génératrice de 6 bars, d'où résulte une détente supersonique à un nombre de mach voisin de 1,5 au col 35 de la tuyère 34, dont le diamètre est de 2,3 mm.

5 L'enceinte 10 a une hauteur d'environ 100 cm et une
largeur de 40 cm. La zone de charge a une longueur effective
de 20 cm et les injecteurs sont disposés face à face dans
cette zone, leurs buses étant espacées de 30 cm. Chaque couple
d'injecteurs, face à face, laisse passer un courant total de
10 100 micro-ampères qui, avec la géométrie considérée et en
tenant compte de la mobilité des ions, permet de créer une
charge d'espace dans la zone 17 de 10^{13} ions positifs ou négatifs
par m^3 au minimum, ce qui correspond à un champ électrique
de $1,7 \cdot 10^5$ volts par mètre.

15 Le gaz admis, préalablement épuré mécaniquement,
véhicule à une vitesse de 2 m/s un flux de poussières résiduel-
les suivant un débit de 7g par seconde, le diamètre moyen de
ces poussières étant de 3 microns. Chaque poussière traverse la
zone de charge en 0,1 seconde, en acquérant environ 300 charges
négatives en moyenne, correspondant à un courant de charge en
20 provenance des injecteurs de 12 microampères.

Le flux de poussières chargées pénètre dans la zone
de précipitation 19 dont les dimensions sont les suivantes :
hauteur 100 cm, longueur 100 cm, la distance entre les plaques
étant de 2,60 cm et ces plaques étant reliées à des potentiels
25 alternativement positifs et négatifs de 10 kilovolts.

La vitesse d'entraînement du fluide gazeux véhiculant
les particules chargées est de 2,8 m/s dans cette zone et la
durée de passage entre les plaques de 0,35 sec. pour obtenir
une précipitation quasi-totale de ces dernières.

30 La forme de réalisation montrée sur la figure 4 est
un dépoussiéreur de gaz comportant une enceinte 110 délimitée
par des parois 111, 112, 113 semblables aux parois 11, 12, 13
de l'enceinte de la figure 1 et, dans l'ordre, entre son entrée
114 et sa sortie 116, un premier lit granulaire de filtrage
35 115, animé d'un lent mouvement descendant, et une zone de
charge 117 dans laquelle débouchent des séries d'injecteurs
121 formant des rangées verticales 123 et 124 traversant
respectivement les cloisons 111 et 112. Les injecteurs 121 sont
analogues à ceux des figures 1 à 3. A la suite de la zone 117
40 se trouve un deuxième filtre 119 comportant un lit granulaire

vertical animé d'un lent mouvement descendant remplissant l'espace entre deux plaques métalliques ajourées ou grillagées 125 et 126 transversales par rapport aux cloisons 111 et 112 et reliées respectivement aux bornes positive et négative
5 d'une alimentation en haute tension continue, ou à deux bornes d'une alimentation alternative, pour effectuer la précipitation électrostatique des particules du courant gazeux issu de la chambre 117 sur les grains du filtre chargés par influence.

Le gaz à dépoussiérer parvient dans la direction de
10 la flèche 152 à l'entrée 114 ; le gaz épuré est délivré dans la direction de la flèche 153 à la sortie 116. Ce séparateur se différencie du précédent par son volume réduit.

Les deux séparateurs décrits sont applicables au dépoussiérage de gaz chargés de poussières très isolantes pour
15 lesquels les appareils connus sont inefficaces.

Le dépoussiéreur des fig. 5 et 6 reçoit des gaz à dépoussiérer à une pression de 12 bars et à 900°C, tels que ceux provenant de la combustion de charbon pauvre ou de déchets combustibles dans un foyer alimenté selon la technique du lit
20 fluidisé à cendres sèches sous pression.

Ce dépoussiéreur de gaz chauds comporte des éléments de filtrage de forme générale cylindrique et la circulation des gaz est conçue en vue de minimiser les déperditions calorifiques de ces gaz entre l'entrée et la sortie du dépoussiéreur.
25 Ces gaz dont issus d'un foyer à lit fluidisé qu'on alimente en air comburant préalablement réchauffé.

Les gaz à dépoussiérer sont admis sous pression par une tuyauterie 201 dans un réservoir 202, garni intérieurement d'une couche calorifuge 203 d'isolant thermique, et de configuration générale cylindrique verticale présentant à ses
30 extrémités supérieure et inférieure deux dômes hémisphériques, respectivement 205 et 206. Entre la couche calorifuge 203 et une paroi métallique 211 sont prévus une série de canaux de ventilation 208 qui sont destinés à faire circuler de l'air
35 frais, avant son admission comme comburant dans le foyer générateur de gaz chauds, en vue de son réchauffement. A l'intérieur de l'espace limité par les canalisations de réchauffement 208 est logé un filtre à lit granulaire 207 de forme sensiblement homothétique de celle du réservoir 202 par rapport
40 à son centre. Ce filtre comprend une cloison externe 212 et

et une cloison interne 214, entre lesquelles est ménagé un espace rempli de billes d'alumine de petite dimension (diamètre 2 mm) formant un lit granulaire 210. La cloison 212 présente une ouverture à sa partie supérieure raccordée à
5 une tubulure 216 traversant le dôme supérieur 205 du réservoir sous pression 202 de façon à admettre des granules 218 circulant dans l'espace 210 dans le sens de la flèche 220. A son autre extrémité, la cloison 212 comporte une tubulure de sortie 222 traversant le dôme inférieur 206 du réservoir 202
10 de façon à permettre l'évacuation des granules du lit de filtrage 210 dans le sens de la flèche 224. La masse de granules remplissant l'espace entre les cloisons 212 et 214 s'écoule très lentement, par exemple 1m par heure, du haut vers le bas.

L'espace entre la paroi métallique 211 séparant les
15 canaux de réchauffage d'air 208 de l'intérieur du réservoir et la cloison 212 est divisé par une cloison annulaire transversale 225 à mi-hauteur en deux chambres, l'une inférieure 227 dans laquelle débouche l'arrivée de gaz chauds 201, l'autre supérieure 228 reliée à une sortie 230 de gaz épuré.

20 Les cloisons 212 et 214 comportent des tamis annulaires capables de retenir les billes d'alumine du lit 210 pour constituer deux zones de filtrage annulaires par lesquelles le gaz à épurer peut passer, l'une en 232 entre la chambre 227 et la chambre 250 délimitée par la cloison 214, et
25 l'autre en 234, entre la chambre 250 et la chambre 228. Ainsi, les gaz chauds pénétrant par l'entrée 201 subissent une première épuration mécanique en traversant la zone 232 du lit granulaire, à la partie inférieure du réservoir 202, puis une deuxième épuration, en retraversant le lit granulaire dans
30 la zone 234 en direction de la sortie 230.

Ce deuxième passage s'accompagne d'une précipitation électrostatique des particules. En effet, deux anneaux isolants supérieur 240 et inférieur 242 séparent la zone de tamis du reste de la cloison interne 214 et deux anneaux isolants supérieur 243 et inférieur 244 semblables séparent la zone de
35 tamis du reste de la cloison extérieure 212 du filtre 207. Le tamis isolé de la cloison 214 dans la zone de filtre 234 est relié à un pôle positif 320 d'une source de haute tension continue tandis que le tamis annulaire opposé de la cloison
40 212 est relié à un pôle négatif 321 de cette source de tension

non représentée, de façon à charger par influence les billes d'alumine comprises dans la zone 234. En variante, il est possible de soumettre les tamis à une haute tension alternative.

5 L'intérieur de la chambre 250 délimitée par la cloison interne 214 constitue une zone de charge dans laquelle on fait passer les particules solides ayant traversé la zone de filtration 232 à travers une charge d'espace formée par des ions issus de deux injecteurs 252 et 254, d'un principe identique à celui représenté sur la figure 3, et pénétrant dans
10 cette chambre au centre des dômes inférieur et supérieur de cette chambre 250 pour projeter deux flux de charges en direction l'un de l'autre selon l'axe vertical du réservoir.

Les poussières les plus fines qui ont échappé à la zone de filtre 232 se chargent dans la chambre 250 et sont
15 filtrées et précipitées électrostatiquement dans la zone 234 de lit de granulés. Les granulés de cette zone se renouvellent progressivement à partir de la tubulure 220 et, après avoir quitté la zone 234, sont ensuite réutilisés dans la zone 232
20 de séparation purement mécanique.

Le gaz épuré issu de la sortie 230 du filtre électrostatique est admis à l'entrée d'une turbine à gaz ou éventuellement d'un moteur à piston après avoir subi une étape intermédiaire de filtration chimique pour éliminer les composés
25 alcalins ou le vanadium.

Dans l'exemple qui vient d'être présenté, la distance entre les injecteurs 252 et 254 est d'environ 1 m, le diamètre de la chambre cylindrique 250 étant de 0,4 m. Le gaz à dépoussiérer est à une pression de 12 bars et à une température de
30 900°C.

Les injecteurs à tuyère supersonique 252 et 254 sont du modèle de la figure 3 et sont alimentés par de l'air humide sous pression. Le col de la tuyère métallique est mis à la masse ; il a un diamètre de 1 mm. L'aiguille métallique isolée
35 telle que 45 sur la figure 3 est reliée à une source de potentiel de 20 à 25 kvolts. Le courant injecté par chaque injecteur est de l'ordre de 250 microampères pour un débit d'air dans la conduite 29 de 15 m³/heure, mesuré dans les conditions normales de pression et de température, pour une pression
40 génératrice de 27 bars.

- Pour un débit de gaz à dépoussiérer de $3600 \text{ m}^3/\text{heure}$ mesuré dans les conditions normales de température et de pression, ce qui correspond à l'application d'une puissance de l'ordre du mégawatt à l'entrée d'un générateur tel qu'une turbine à gaz, avec une charge de poussière de 100 g par mètre cube, le premier dépoussiérage, comprenant un passage dans un cyclone puis la traversée de la zone 232 du lit granulaire, réalise une épuration à 93% environ, c'est-à-dire qu'il reste 7 g de particules à éliminer à chaque seconde.
- 10 Avec la géométrie indiquée, le champ électrique produit dans la chambre 250 est d'environ 500 kvolts par mètre avec une densité minimale d'ions de l'ordre de 10^{14} au mètre cube, qui représente une charge d'espace suffisante pour permettre à des particules de 3 microns de diamètre moyen traversant le
- 15 volume considéré en 0,5 seconde d'acquérir environ 300 charges élémentaires, ce qui est suffisant pour leur permettre d'être recueillies par les billes polarisées du filtre électrostatique à lit granulaire dans la zone 234. Dans ces conditions, le courant emporté par les particules chargées vers la zone de fil-
- 20 trage électrostatique 234 est de 12 microampères. Ce courant est faible par rapport au courant total injecté par les injecteurs définis précédemment. La plus grosse partie de ce courant s'évacue donc par la paroi métallique de l'enceinte délimitée par la cloison métallique 214 qui est à la masse.
- 25 Ainsi qu'on l'a déjà indiqué, les particules transférées dans la zone de charge 250 par l'intermédiaire des injecteurs 252 et 254 sont des ions positifs. La valeur de la charge d'espace résultant de ce transfert d'ions positifs est très inférieure à la valeur de la charge d'espace dans la décharge
- 30 corona à l'intérieur des injecteurs eux-mêmes. En outre, pour éviter que des élévations locales du champ électrique produit à l'intérieur de la zone 250 ne créent des décharges locales involontaires dans certaines parties de cette zone, la surface intérieure de la cloison métallique 214 délimitant la zone
- 35 d'espace 250 est polie. On élimine ainsi les petites pointes sur cette surface qui pourraient donner naissance à des avalanches génératrices d'électrons, lesquels, compte tenu de la température élevée des gaz, risqueraient de diminuer fortement la quantité de charges communiquées aux particules de
- 40 poussière et d'affecter fâcheusement l'efficacité de la précipitation électrostatique.

REVENDICATIONS

1. Procédé de séparation de particules en suspension dans un gaz selon lequel on fait circuler le gaz dans une enceinte pour y charger électriquement les particules afin de les recueillir par précipitation électrostatique sur au moins une électrode, caractérisé en ce que, pour charger électriquement les particules, on produit des ions dans une chambre distincte de l'enceinte et on les injecte dans ladite enceinte pour former une charge d'espace sur le trajet du courant gazeux.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite chambre distincte et ladite enceinte enferment deux atmosphères physiquement distinctes seulement reliées par un orifice étroit par lequel on injecte lesdits ions.
3. Procédé de séparation selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que, pour injecter lesdits ions, on les piège dans ladite chambre distincte à l'aide de microparticules d'aérosol qu'on injecte ensuite dans ladite enceinte, les ions piégés y étant libérés par changement d'état desdites microparticules d'aérosol pour produire ladite charge d'espace sur le trajet du courant gazeux dans ladite enceinte.
4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que les microparticules à l'aide desquelles on piège les ions sont des cristaux microscopiques de glace obtenus par détente supersonique d'un courant de gaz humide dans une décharge corona produite dans ladite chambre, qui libèrent par vaporisation les ions piégés.
5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que le gaz humide est de l'air dont le degré hygrométrique mesuré dans les conditions normales de température et de pression est supérieur à 10%.
6. Procédé selon l'une des revendications 3 à 5, caractérisé en ce que l'on ajuste le débit de microparticules injectées dans ladite enceinte pour maintenir la charge d'espace à une valeur prescrite.
7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que le courant gazeux est formé de gaz chauds et que l'on piège des ions positifs pour former une charge d'espace positive sur le trajet dudit courant de gaz chauds.

8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que le courant gazeux est formé d'air chargé de particules de gluten et que l'on piège des ions négatifs pour former une charge d'espace négative dans ce courant d'air.

5 9. Séparateur électrostatique du type comprenant une enceinte dans laquelle circule entre une entrée et une sortie un courant gazeux véhiculant des particules, des moyens pour charger électriquement lesdites particules et des moyens sur le trajet dudit courant gazeux pour précipiter électrostatique-
10 ment lesdites particules chargées, caractérisé en ce que lesdits moyens de charge comprennent un générateur d'ions (21) par décharge corona dans une chambre (32) distincte de ladite enceinte (17), et des moyens (25) pour injecter ces ions dans ladite enceinte afin d'y créer une charge d'espace sur le
15 trajet dudit courant gazeux.

10. Séparateur selon la revendication 9, caractérisé en ce que les moyens d'injection d'ions comprennent des moyens pour former des microparticules d'aérosol dans la zone de décharge corona (35) dudit générateur d'ions (21) pour y piéger
20 les ions, lesdites microparticules étant propres à se vaporiser pour libérer les ions piégés dans ladite enceinte (17).

11. Séparateur selon la revendication 10, caractérisé en ce que les moyens pour former les microparticules d'aérosol comportent un dispositif (34) de détente supersonique d'un gaz
25 chargé d'humidité dans la zone de décharge corona.

12. Séparateur selon l'une quelconque des revendications 9 à 11, pour l'élimination de particules inflammables dans une atmosphère de silo de stockage des céréales, caractérisé en ce que le générateur d'ions comporte une électrode
30 centrale (45) propre à être portée à un potentiel négatif par rapport à celui d'une deuxième électrode pour créer la décharge corona entre ces deux électrodes.

13. Séparateur selon l'une quelconque des revendications 9 à 11, pour l'élimination de poussières véhiculées par des gaz de combustion chauds, caractérisé en ce que le générateur d'ions comporte une première électrode centrale (45) propre à être portée à un potentiel positif par rapport à une
35 deuxième électrode (34) pour produire la décharge corona entre ces électrodes afin que la charge d'espace engendrée dans
40 ladite enceinte soit positive.

14. Séparateur selon l'une des revendications 9 à 13, caractérisé en ce que lesdits moyens d'injection comprennent une buse d'injection (25) axiale prolongeant ladite chambre (32) et pénétrant dans ladite enceinte, une tuyère supersonique (34) à l'entrée de la buse d'injection (25) et des
5 moyens pour introduire un gaz humide sous pression dans cette chambre (34) afin de provoquer sa détente supersonique dans la tuyère (34), et en ce que le générateur d'ions (21) comprend une électrode (45) effilée aboutissant, dans l'axe de la buse,
10 au col (35) de la tuyère (34), et des moyens (48) pour soumettre cette électrode à une haute tension continue par rapport à ladite tuyère pour produire une décharge corona dans le gaz s'écoulant à travers cette tuyère.

15 15. Séparateur selon la revendication 13, caractérisé en ce que la surface interne de ladite enceinte (250) à l'endroit de ladite charge d'espace est polie.

16. Dispositif d'injection d'ions pour produire une charge d'espace dans une enceinte, propre à être utilisé comme moyen de charge de particules dans un séparateur selon l'une
20 des revendications 9 à 15.

17. Séparateur électrostatique du type comprenant une enceinte pour y faire circuler un courant de gaz chauds entraînant des poussières à séparer de ces gaz, des moyens pour charger électriquement ces poussières pénétrant dans ladite enceinte
25 et des moyens disposés sur le trajet dudit courant gazeux pour précipiter électrostatiquement lesdites poussières chargées, caractérisé en ce que lesdits moyens de charge (21) comportent des moyens pour créer une charge d'espace positive dans ladite enceinte sur le trajet du courant gazeux.

Fig. 1

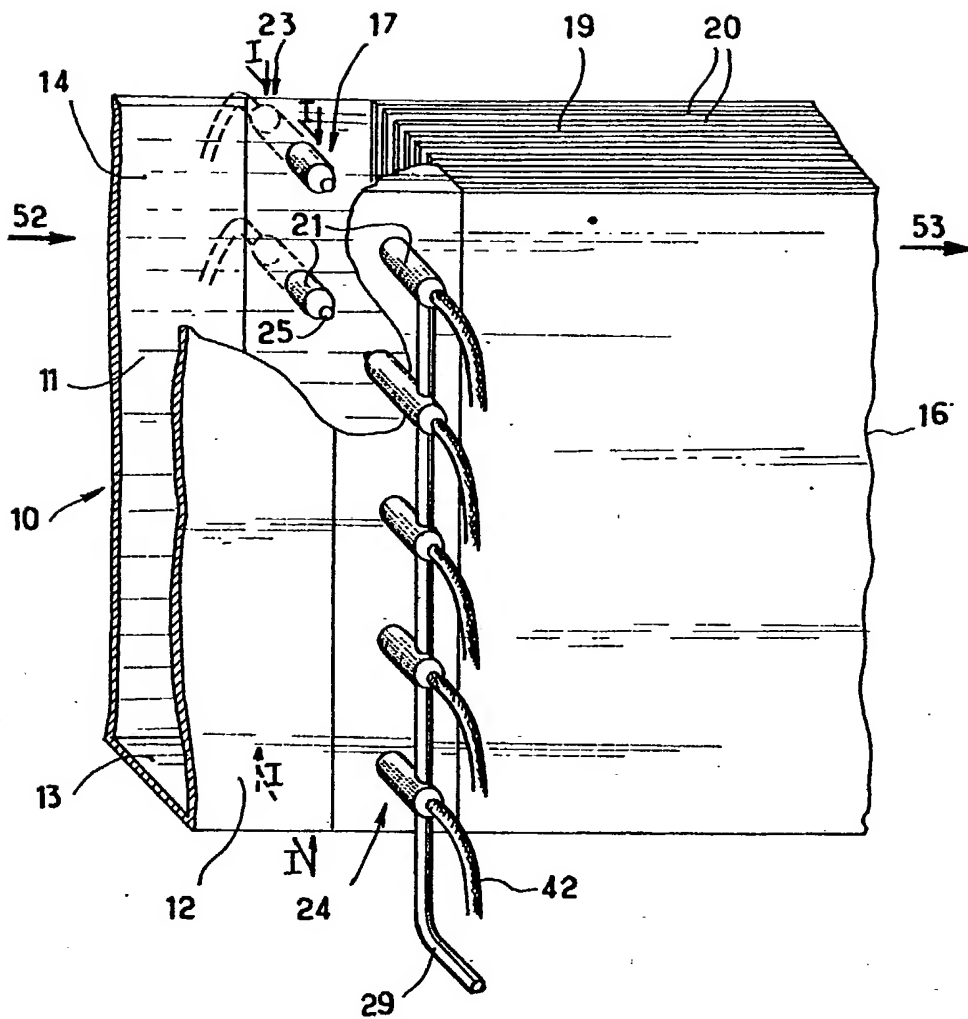


Fig. 2B

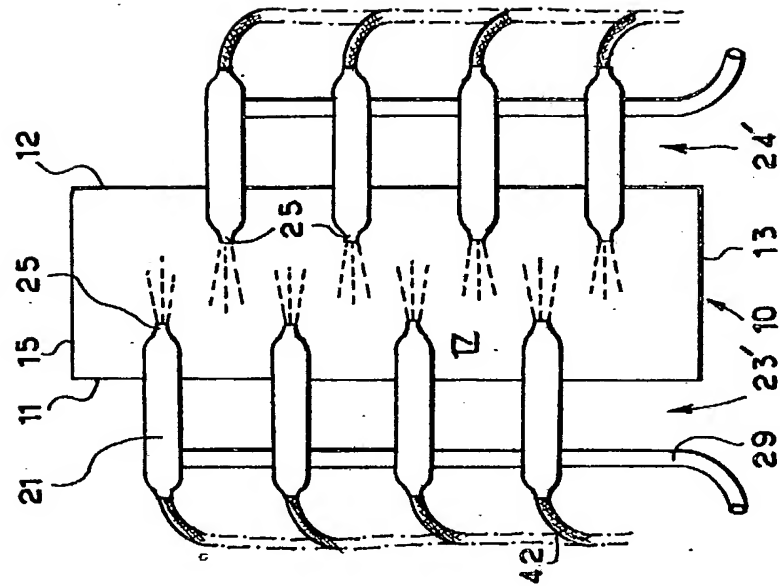
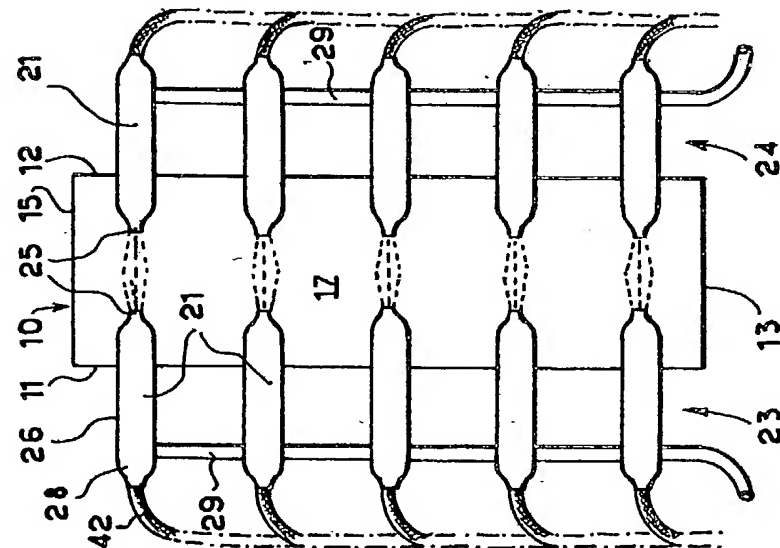


Fig. 2A



3 / 4

Fig. 3

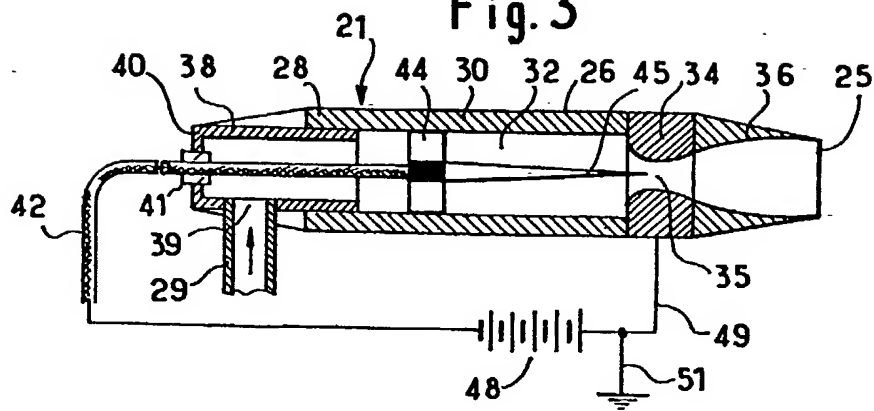
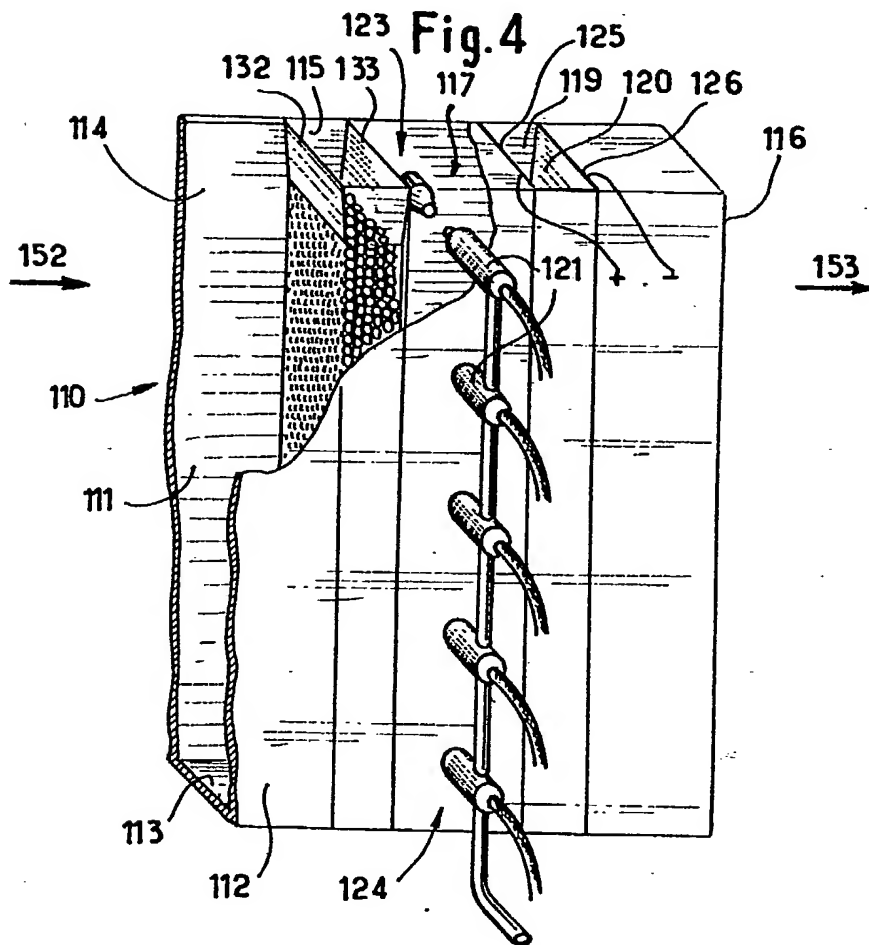


Fig. 4



4 / 4

Fig. 6

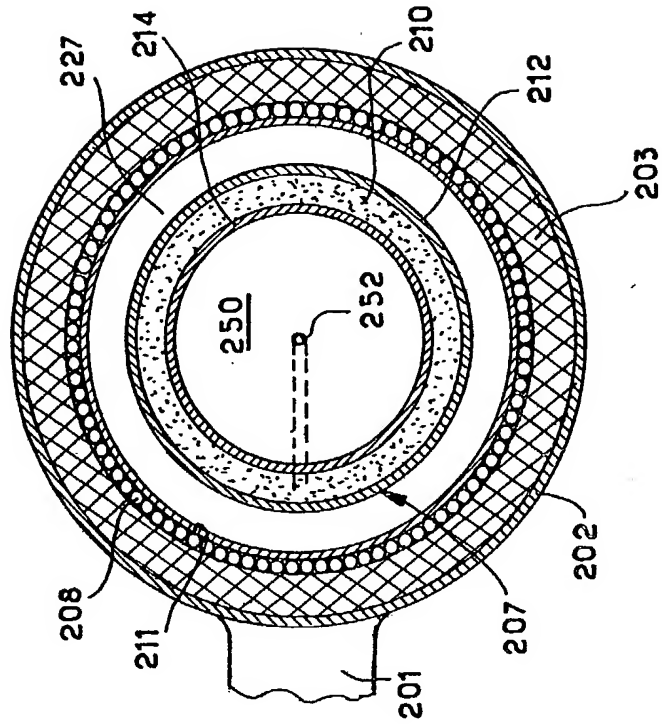


Fig. 5

